

日本国土開発 正会員 中野友裕
名古屋大学工学部 正会員 田辺忠顕

1. はじめに

コンクリートを製造する際には、コンクリートの配合を適切に決定することが一義的に重要である。その中でも使用される単位水量が重要であり、正確な計量が行われる必要がある。その単位水量には、細骨材中に含まれる表面水も含まれるのであるが、その表面水率については管理がなかなか困難であるのが現実である。実際に現在行われている方法は、何らかの水分計を用いて直接表面水を計測する方法であるが、表面水が非常に多かったり、あるいは他の理由から、表面水率の変動が大きい場合には、計測した表面水を配合調整に直接反映するのは困難であろう。

そこで本研究は、細骨材の水分移動ならびに損失について、貯蔵されている砂の表面水分移動の挙動を、実験的・解析的に明らかにし、水分管理に役立てることを試みた。

2. 飽和・不飽和浸透流の理論

水の圧縮性や砂の骨格構造の変化を無視し、見かけの流束ベクトルを $\vec{q}$ とすると、質量保存則によって次の連続方程式を得る。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\operatorname{div}(\vec{q}) \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 θ は体積含水率、 t は時間、 $\vec{q}$ は流速である。一方、飽和地下水に関する Darcy の法則を、透水係数が体積含水率 θ の関数であると仮定すると、不飽和領域にまで一般化した Buckingham の方程式を得る。

$$\vec{q} = -\vec{K}(\theta) \operatorname{grad} \phi \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 $K(\theta)$ は透水係数、 ϕ は水理水頭で $\phi = \psi + z$ (ψ は毛管ポテンシャル、 z は位置水頭) である。(2) を (1) に代入し、透水係数の等方性を仮定し、 K を θ の関数から ψ の関数に変換すると Richards の式を得る。

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\psi)}{\partial z} \quad \dots \dots (3)$$

ここに、 $C(\psi)$ は比水分容量であり、 $C(\psi) = d\theta/d\psi$ である。

3. 実験方法

実験は、長い筒状のカラムに砂を詰めて行った。砂は、豊田産の山砂で、比重 2.51、吸水率 1.47%、F.M=3.10 である。測定点にはテンシオメータを取りつける。テンシオメータとは、先端にポーラスカップをつけた管であり、カップからしみだした水を砂中水と連続させて、その水圧を測定する装置である。本実験では、ポンプから一定の流量の水を流し、その間の水圧の変化をひずみの値としてデータロガーで記録した。

なお、実験は水道水を用いるものと、水の表面張力を減らす薬品(テトラガード)を溶かした水を用いたものの2種類で行った。

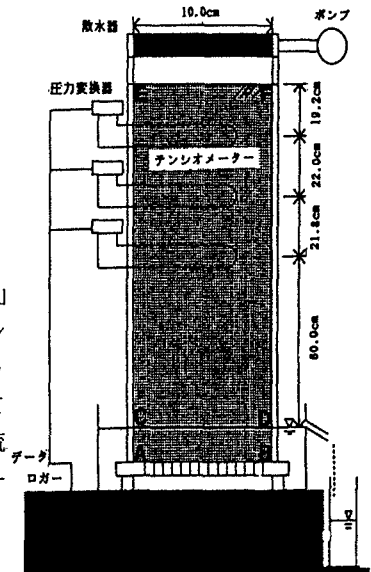


図1. 実験装置概略図

4. 実験・解析結果および考察

実験結果として特徴的なものは、散水点に近い点よりも遠い点の方がポテンシャル変化がゆっくりと起きていることである。これは、浸透流が Darcy の法則 $Q = K A \cdot \Delta\psi / \Delta z$ で表されるように、ポテンシャル勾配に比例する形で生じるので、浸透流がポテンシャルに対して拡散的に変化するというに由来すると考えられる。

また、水道水とテトラガード混入水とは挙動に違いが見られる。第1に、テトラガード混入水のほうが立ち上がりの時刻が遅れているということ、2点目としてテトラガード混入水の方では毛管ポテンシャルが0に近づく傾向が見られる。前者は、表面張力の減少によって含水率が低下し、透水係数が小さくなるので、速度が遅くなるためであると考えられる。また、後者については薬品を混ぜたことによって表面張力が弱くなり、引っ張る力、つまり負圧が小さくなったことから起こった現象と考えられる。

解析結果については、水道水については概ね一致した。しかし、テトラガード混入水については良い解析結果が得られなかった。これは、表面張力が小さくなった場合、水分特性が大きく変化するので、普通の水に用いるような理論では対応し切れないことがあると思われる。これは図5に見られる水分特性曲線の違いによく現れている。

5. 結論

細骨材における不飽和流動の解析にも、土で用いられる Richards の式が利用できる。しかし、非線形性が極めて強いので、水分特性曲線の毛管水縁付近での解析については特別に注意が必要であり、今後、更に数値解析方法について検討する必要があると思われる。

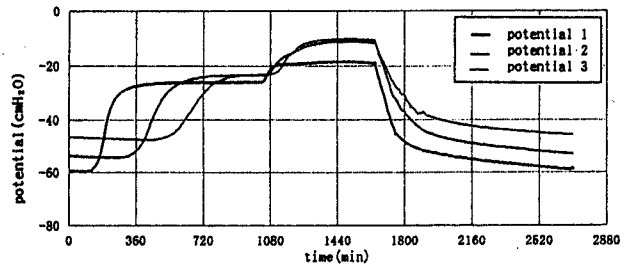


図2. 実験結果（水道水）

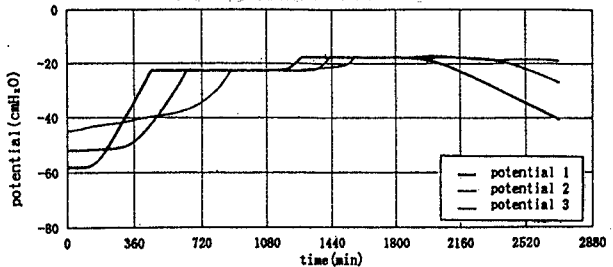


図3. 解析結果（水道水）

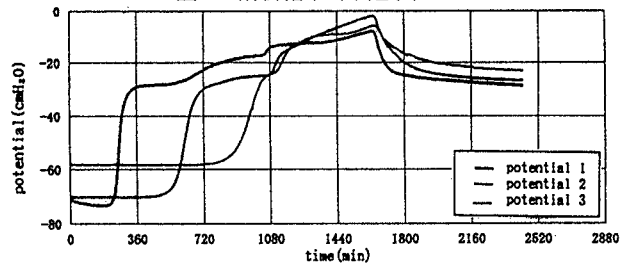


図4. 実験結果（テトラガード混入）

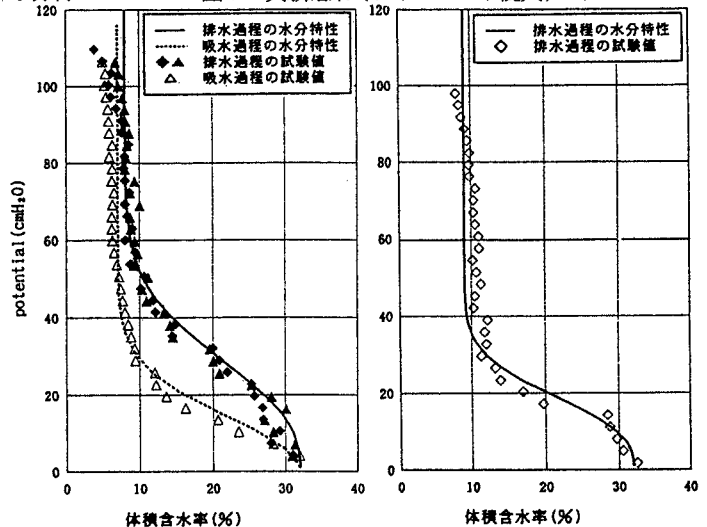


図5 水分特性曲線（左：水道水、右：テトラガード）